

SHUKONG JIAGONG JISHU

数控加工技术

颜伟 主编 秦庆礼 主审



责任编辑 / 孟苏成

封面设计 / Design  本格设计

21世纪

高等职业技术教育规划教材

机械工程类

- 数控设备调试与维护
- 数控加工技术
- 数控加工实训教程
- 机械设计基础
- 机械加工基础

ISBN 978-7-81104-509-3



9 787811 045093 >

定价: 25.00 元

21 世纪高等职业技术教育规划教材 —— 机械工程类

数 控 加 工 技 术

颜 伟 主编

秦庆礼 主审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书主要介绍常用数控设备、数控加工工艺和数控编程知识,编写时十分注重数控编程与机械制造工艺知识的紧密融合。全书共7章,内容包括:数控机床、数控加工工艺、数控编程,数控车削、数控铣削、加工中心、数控电火花加工及其编程。本书结合文字叙述,配有许多机床结构简图、工艺装备简图、零件加工示意图、数控编程与加工轨迹示意图等,内容清晰、直观,便于阅读理解。

本书适合高职高专机电类专业学生学习数控加工技术使用,也可供现代机械制造企业技术人员、数控机床操作人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/颜伟主编. —成都:西南交通大学出版社, 2007.2

21世纪高等职业技术教育规划教材. 机械工程类

ISBN 978-7-81104-509-3

I. 数… II. 颜… III. 数控机床—加工—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第022388号

21世纪高等职业技术教育规划教材——机械工程类

数 控 加 工 技 术

颜 伟 主 编

*

责任编辑 孟苏成

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码:610031 发行部电话:028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蜀通印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸:185 mm×260 mm 印张:15.75

字数:392千字 印数:1—3 000册

2007年2月第1版 2007年2月第1次印刷

ISBN 978-7-81104-509-3

定价:25.00元

图书如有印装问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562

21 世纪高等职业技术教育规划教材 —— 机械工程类
《数控加工技术》编委会

主编：颜 伟

编委：（按姓氏笔画排序）

王小江	四川工商职业技术学院机电系
李 丹	四川建筑职业技术学院机电系
沈 犇	四川工程职业技术学院机电系
吴京霞	四川航天职业技术学院飞行器制造系
周 林	四川航天职业技术学院飞行器制造系
张安民	泸州职业技术学院机械电力工程系
欧彦江	成都电子机械高等专科学校机械系
唐长清	四川航天职业技术学院飞行器制造系
黄先琪	四川交通职业技术学院自动化系
颜 伟	四川交通职业技术学院自动化系

前 言

近年来,党中央、国务院高度重视高等职业技术教育的发展,加大了对职业教育的领导和支持力度,采取了一系列强有力的措施推动 100 所国家示范性高等职业院校的建设。在示范性高等职业院校的建设过程中,教材建设是一项非常重要的工作。编写具有高等职业教育特色、突出职业技能培养、反映企业实用技术的专业课教材,需要我们高等职业技术学院教师们的共同努力。

本着这一精神,2006 年初,四川省部分高等职业技术学院的相关专业课教师在成都聚会,交流教学经验、探索教学改革、分析行业发展,共同商讨,合作编写了这本供机电类专业(数控技术、机械制造与自动化、模具设计与制造、机电工程专业等)学生使用的数控加工技术教材。随着数控技术在各工业领域的广泛应用,机电类专业学生应该熟练掌握数控编程与加工技术,已经成为企业的普遍要求和高等职业技术学院机电类专业教师的共识。

本书贯彻“删繁就简、知识整合、突出技能、够用为度”的原则,按照数控设备、数控工艺、数控编程的主线,阐述数控加工技术涉及的主要内容。数控加工技术,不仅仅是编程,更多的是处理机械制造工艺问题。本书在编写中,十分注意数控编程与机械制造工艺之间的紧密联系,在应用层面上比较全面地介绍了数控加工技术。

本书共 7 章,第 1 章介绍数控机床基础知识及典型数控机床构成,使读者能够比较全面地了解数控加工的常用设备;第 2 章结合机械制造工艺知识,介绍数控加工工艺特点;第 3 章介绍数控编程格式及常用指令;第 4、5、6 章分别介绍数控车削编程、数控铣削编程和数控加工中心编程;第 7 章介绍数控电火花加工及其编程。全书文字简练,图形直观易懂。

本书由四川交通职业技术学院颜伟副教授担任主编。成都电子机械高等专科学校欧彦江老师,四川航天职业技术学院周林、唐长清、吴京霞副教授,泸州职业技术学院张安民老师,四川工程职业技术学院沈桦老师,四川建筑职业技术学院李丹老师,四川工商职业技术学院王小江老师,四川交通职业技术学院黄先琪教授参加了本书的编写。四川航天职业技术学院秦庆礼副教授担任主审。

由于各院校机电类不同专业对数控加工技术的要求有所不同,本书在编写内容及内容深浅程度方面,恐有未能兼顾周全之处,加之编写时间仓促,错误、不当之处在所难免,敬请读者不吝指正。

本书在编写过程中,参考和引用了一些已经出版的技术资料或教材内容,在此对这些资料的作者深表谢意。

编 者

2007.1

目 录

第 1 章 数控技术及数控机床	1
1.1 数控机床概述	1
1.2 数控机床控制系统	8
1.3 数控机床伺服系统	12
1.4 典型数控机床	18
1.5 数控机床的维护	36
第 2 章 数控加工工艺	41
2.1 金属切削运动	41
2.2 数控机床刀具	42
2.3 数控机床的夹具与量具	52
2.4 数控加工工艺	56
2.5 机械加工质量	81
2.6 加工工艺制订的实例	89
第 3 章 数控编程	93
3.1 数控程序编制基础	93
3.2 数控编程中的数学处理	96
3.3 数控机床的坐标系	97
3.4 数控加工的刀具补偿	101
3.5 常用编程指令	105
第 4 章 数控车削编程与加工	119
4.1 数控车削加工工艺基础	119
4.2 数控车削编程常用指令	127
4.3 数控车削编程综合实例	152
第 5 章 数控铣削编程与加工	157
5.1 数控铣削加工工艺基础	157
5.2 数控铣削编程常用指令	175
5.3 数控铣削编程综合实例	185
第 6 章 数控加工中心编程与加工	190
6.1 加工中心加工工艺基础	190
6.2 加工中心编程常用指令	200
6.3 加工中心编程综合实例	216

第 7 章 数控电火花线切割编程与加工	224
7.1 电火花加工工艺基础	224
7.2 数控电火花线切割编程	227
7.3 数控线切割加工编程综合实例	233
参考文献	244

第1章 数控技术及数控机床

1.1 数控机床概述

1.1.1 数控机床

制造业是生产物质财富的产业，机床是制造业的主要生产设备，制造业中的绝大多数零件都直接或间接地经过机床加工，因此，机床（也称工作母机）是制造业的基础。在传统制造业中，对于大批量生产的产品，往往采用组合机床等专用机床组成的自动或半自动生产线；对于单件或小批量生产的产品，一般采用通用机床加工。随着科学技术的不断发展和社会生产力的不断提高，市场对机械产品的要求越来越高，不仅要求提高产品的质量水平，而且要求加快产品更新换代的速度，这样就导致了在现代制造业中多品种、中小批量生产的比重不断增加。在这样的现实下，再采用传统的加工机床就显得不合理了：应用专用机床生产线生产准备周期长、费用高、产品不易更新（有时甚至不可能实现产品更新）；应用通用机床则无法大幅度地提高生产效率和精确地控制产品质量，同时通用机床也无法加工一些复杂度和精度要求很高的小批量生产的产品。相比之下，数控机床的出现恰恰满足了这些要求。

数控机床是一种采用了计算机技术，并将机床加工中的位移、工艺参数、辅助功能等数字化，从而实现加工过程自动化控制的机床。1948年，美国帕森斯（Parsons）公司在研制加工直升机叶片轮廓检验样板的机床时，首先提出利用电子计算机控制机床加工复杂曲线样板的新概念。1952年，帕森斯公司和麻省理工学院（MIT）伺服机构研究所合作研制成功了世界上第一台三坐标数控铣床。

数控机床的出现，极大地促进了机床行业的技术进步和行业发展，使得产品质量大幅度提高，新产品开发周期明显缩短。目前，数控机床已经遍布军工、航空航天、汽车、造船、机车车辆、机床、建筑、通用机械、纺织、轻工、电子等几乎所有行业。数控机床的特点是：

（1）加工精度高，加工稳定可靠。数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的，不需人工干预，这就消除了操作者人为造成的误差；数控机床本身的刚度好，精度高，精度保持性好，零件的加工一致性好，质量稳定可靠；数控机床还可利用软件进行误差补偿和校正，这也保证了数控加工的高精度。

（2）适合于复杂异形零件的加工。数控机床可以完成普通机床难以完成或根本不能完成的复杂零件的加工，因此在宇航、造船、模具制造等行业中得到广泛应用。

（3）高柔性加工。对象改变时，一般只需要更改数控程序，体现出很好的适应性，可大大节省生产准备时间。在数控机床的基础上，可以组成具有更高柔性的自动化制造系统 FMS（Flexible Manufacture System，柔性制造系统）、CIMS（Computer Integrated Manufacture System，计算机集成制造系统）等。

（4）高生产率。数控机床本身的精度高、刚性大，可选择有利的加工用量，生产率高，一

一般为普通机床的 3~5 倍,对某些复杂零件的加工,生产效率可以提高十几倍甚至几十倍。

(5) 劳动条件好。机床自动化程度高,操作人员劳动强度大大降低。另外,数控机床一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置,劳动条件大为改善。

(6) 有利于管理现代化。采用数控机床有利于向计算机控制与管理生产方面发展,为实现生产过程自动化创造了条件。

(7) 生产准备工作复杂。由于整个加工过程采用程序控制,数控加工的前期准备工作较为复杂,包含工艺确定、程序编制等。

(8) 维修、维护技术要求高。数控机床是典型的机电一体化产品,技术含量高,对维修人员的技术要求很高。

1.1.2 数控机床的组成

数控机床一般由数控系统、包含伺服电动机和检测反馈装置的伺服系统、强电控制柜、各类辅助装置和机床本体组成,如图 1.1 所示。

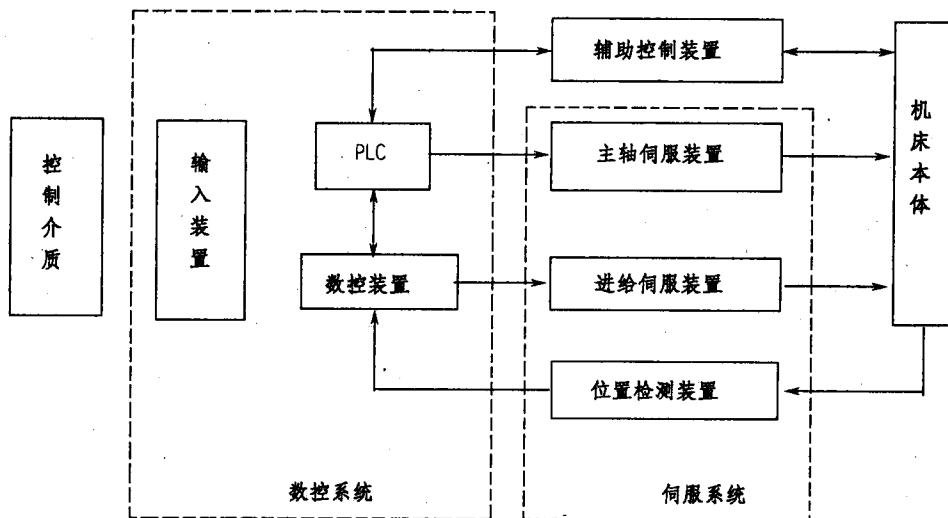


图 1.1 数控机床基本结构

数控装置是数控机床的核心,其作用是:从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序,经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算处理后,输出几种控制信息和指令,控制机床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。

伺服系统是数控装置和机床本体的联系环节,它把来自数控装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。伺服系统还包括位置检测装置,位置检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移检测出来,经反馈单元反馈到机床的数控系统中。

伺服系统是机床工作的驱动装置,数控装置的指令要靠伺服系统付诸实施。所以,伺服系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上说,数控机床功能的强弱主要取决于数控装置,而数控机床性能的好坏主要取决于伺服系统。

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号,经过翻译、逻辑

判别和运算,再经功率放大后驱动相应的电器,带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停指令,刀具的选择和交换指令,冷却、润滑装置的启停,工件和机床部件的松开和夹紧,分度工作台的转位分度等辅助动作。当今数控机床已广泛采用可编程控制器(PLC)作为辅助控制装置。

数控机床的本体指其机械结构实体。数控机床在整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面与普通机床相比,都发生了很大的变化。它们普遍采用高性能主轴及主传动部件,采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等高效进给传动件,具有完善的刀具自动交换和管理系统,机床本身具有很高的动、静刚度。

1.1.3 数控机床的分类

数控机床的品种规格很多,分类方法也各不相同。一般可按下面5种原则进行分类:

1. 按加工工艺分类

(1) 金属切削类。指采用车、铣、钻、镗、铰、磨、刨等各种切削工艺的普通数控机床;在普通数控机床上加装刀库和自动换刀装置构成的数控加工中心,如镗铣加工中心、车削中心、钻削中心等。

(2) 金属成型类。指采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床,常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。

(3) 特种加工类。主要有数控电火花线切割机、数控电火花成型机、数控火焰切割机、数控激光加工机等。

2. 按机床运动的控制轨迹分类

(1) 点位控制的数控机床。点位控制只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的准确定位,在移动过程中不进行加工。具有点位控制功能的机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床等,图1.2为点位控制数控钻床加工示意图。

(2) 点位直线控制数控机床。这类数控机床的特点是除了控制点与点之间的准确定位外,还要控制两相关点之间的移动速度和路线(轨迹)。其运动路线是与机床坐标轴平行的直线,或两轴同时移动时构成的斜线。点位直线控制功能的机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床等。这种机床的数控系统也称为直线控制数控系统。图1.3为点位直线控制数控铣床加工示意图。

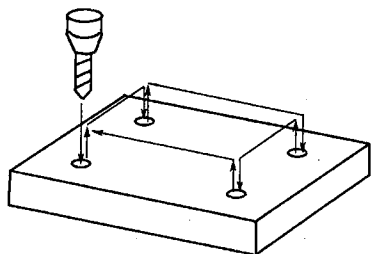


图 1.2 点位控制数控钻床加工示意图

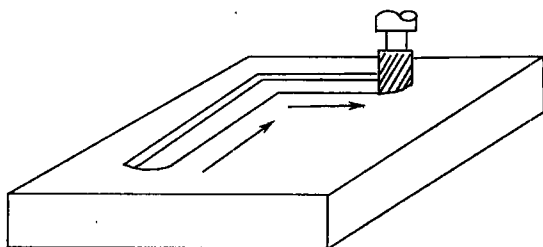


图 1.3 点位直线控制数控铣床加工示意图

(3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制数控机床也称连续控制数控机床, 其控制特点是能够对两个或两个以上的运动坐标的位移和速度同时进行控制, 在运动过程中刀具对工件轮廓表面进行连续切削, 加工出各种直线、圆弧、曲线等。图 1.4 为 2 坐标轮廓控制数控铣床加工示意图, 这类机床主要有数控铣床、数控线切割机床、加工中心等。

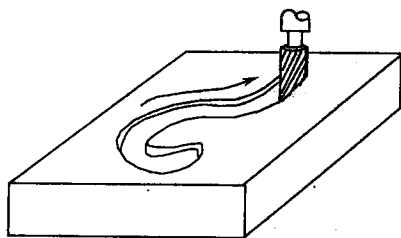


图 1.4 2 坐标轮廓控制数控铣床加工示意图

3. 按联动轴数分类

数控系统控制的几个坐标轴, 按需要的函数关系同时协调运动, 称为坐标联动。按照联动轴数的不同, 数控机床可以分为:

(1) 两轴联动数控机床。数控机床能同时控制两个坐标轴联动, 适于数控车床加工旋转曲面或数控铣床铣削平面轮廓。

(2) 两轴半联动数控机床。二轴半联动主要用于三轴以上机床的控制, 其中两根轴可以联动, 而另外一根轴作周期性进给。两轴半联动加工可以实现分层加工, 如图 1.5 所示。

(3) 三轴联动数控机床。一般分为两类, 一类就是 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动, 比较多地用于数控铣床、加工中心等, 如图 1.6 所示为用球头铣刀铣切三维空间曲面; 另一类是除了同时控制 X 、 Y 、 Z 中两个直线坐标外, 还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。如车削加工中心, 它除了纵向 (Z 轴)、横向 (X 轴) 两个直线坐标轴联动外, 还需同时控制围绕 Z 轴旋转的主轴 (C 轴) 联动。

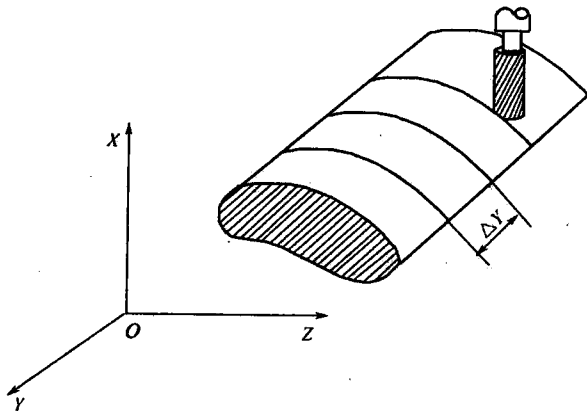


图 1.5 二轴半联动的曲面加工

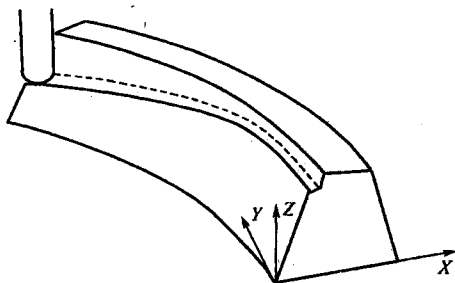


图 1.6 三轴联动的曲面加工

(4) 多坐标联动。多坐标数控机床能同时控制四个以上坐标轴的联动, 如四轴联动、五轴联动等。多坐标数控机床的结构复杂、精度要求高、程序编制复杂, 适于加工形状复杂的零件, 如叶轮叶片类零件。图 1.7 为五轴联动加工中心, 除了可以实现 X 、 Y 、 Z 三根直线轴联动外, 还控制了 A 、 B 两个旋转轴, 实现了五轴联动。

4. 按伺服控制的方式分类

(1) 开环控制数控机床。这类机床的特点是其控制系统不带位置检测反馈装置, 它的驱

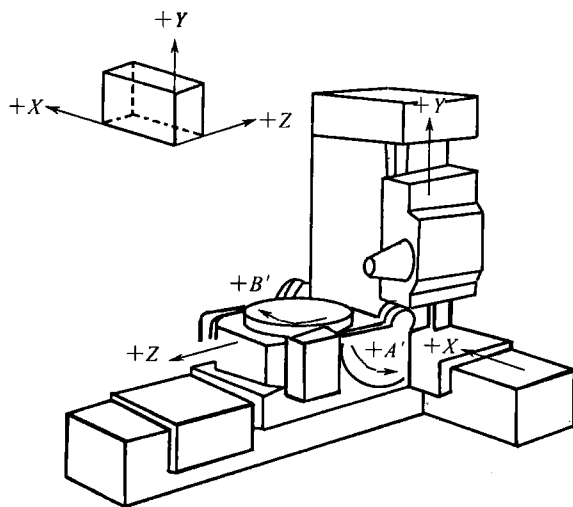


图 1.7 五轴联动加工中心

动电动机为一般步进电机，如图 1.8 所示。开环系统仅适用于加工精度要求不高的中小型数控机床，在我国，一般经济型数控系统和旧设备的数控改造多采用这种控制方式。

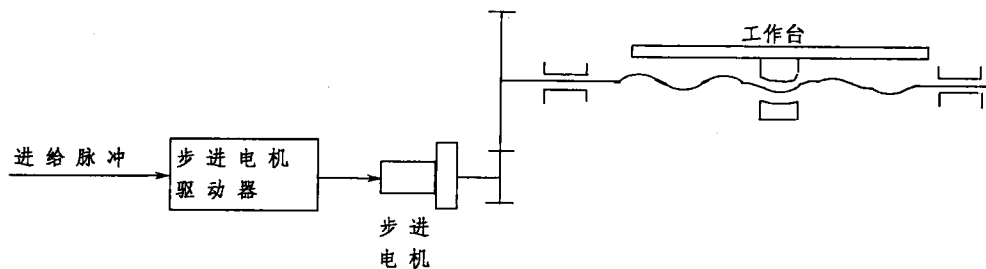


图 1.8 开环控制系统框图

(2) 半闭环控制数控机床。半闭环控制数控机床的特点是在伺服电动机轴上或丝杠端部直接安装了编码器等转角检测元件，如图 1.9 所示，通过检测元件检测电动机轴或丝杠的转角，间接地检测移动部件的实际位移，然后反馈到数控装置中去，并对误差进行修正。目前，采用半闭环控制方式的数控机床应用十分广泛。

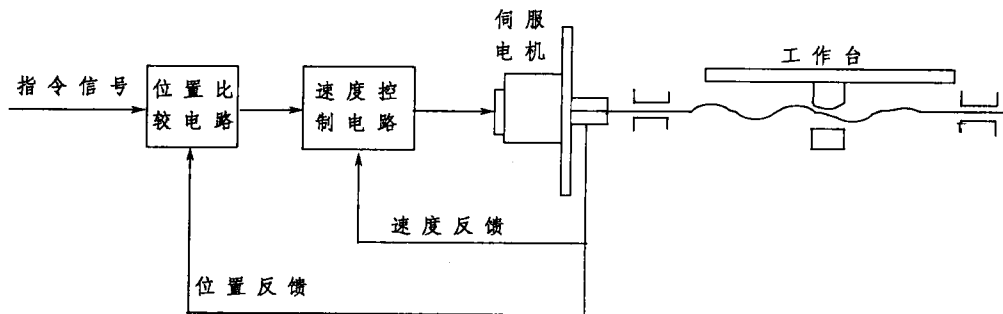


图 1.9 半闭环控制系统框图

(3) 闭环控制数控机床。这类数控机床的进给伺服驱动是按闭环反馈控制方式工作的。位置反馈装置采用直线位移检测元件(如光栅尺等),安装在机床的移动部件上,直接检测机床移动部件的直线位移量。通过反馈可以消除从电动机到机床移动部件整个机械传动链中的传动误差,从而得到很高的机床静态定位精度。但是,由于在整个控制环内,许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙均为非线性,并且整个机械传动链的动态响应时间与电气响应时间相比又非常大,这为整个闭环系统的稳定性校正带来很大困难,系统的设计和调整也都相当复杂。因此,这种闭环控制方式主要用于精度要求很高的数控坐标镗床、数控超精车床、数控精密磨床等。其控制系统的框图如图 1.10 所示。

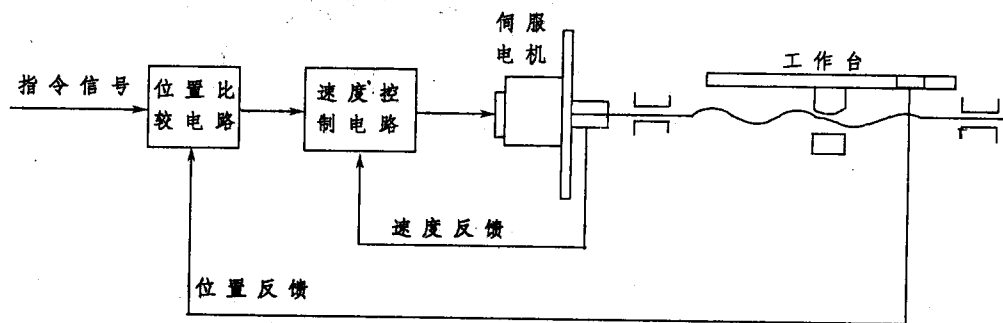


图 1.10 闭环控制系统框图

(4) 混合控制数控机床。开环控制方式稳定性好、成本低、精度差；全闭环精度高、稳定性差，而半闭环介于两者之间。采用混合控制方式，可以较好地将它们的特点结合起来，以满足一些大型或重型机床的要求。混合控制方式中采用较多的有开环补偿型和半闭环补偿型两种方式。

5. 按数控系统的功能水平分类

通常可以分为低、中、高三档，其中低档数控机床又称为经济型数控机床，中档数控机床也称为普及型数控机床。这种分类方式，在我国用得较多，如表 1.1 所示。

表 1.1 不同档次数控机床的性能及指标

项 目	低 档	中 档	高 档
分辨率和进给速度	10 μm 、8~15 m/min	1 μm 、15~24 m/min	0.1 μm 、15~100 m/min
伺服进给类型	开环、步进电机系统	半闭环直流或交流伺服系统	闭环直流或交流伺服系统
联动轴数	2 轴	3~5 轴	3~5 轴
主轴功能	不能自动变速	自动无级变速	自动无级变速、C 轴功能
通信能力	无	RS-232C 或 DNC 接口	MAP 通信接口、联网功能
显示功能	数码管显示、CRT 字符	CRT 显示字符、图形	三维图形显示、图形编程
内装 PLC	无	有	有
主 CPU	8 bit CPU	16 或 32 bit CPU	64 bit CPU

1.1.4 数控机床的发展趋势

随着科学技术、先进制造技术的兴起和不断成熟,对数控技术提出了更高的要求,引导着数控技术向以下方向发展:

1. 高速高精度化

高速化是指数控机床的高速切削和高速插补进给;高精度是指数控机床能够达到高的分辨率、定位精度、重复定位精度等。近年来,电主轴、直线电机以及新型刀具的应用,使数控车削和铣削的切削速度已达到 $5\,000\sim 8\,000\text{ m/min}$ 以上;主轴转数在 $30\,000\text{ r/min}$ (有的高达 $100\,000\text{ r/min}$) 以上;进给速度,在分辨率为 $1\text{ }\mu\text{m}$ 时,可达到在 100 m/min (有的到 200 m/min) 以上;分辨率为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 时,在 24 m/min 以上;自动换刀速度在 1 s 以内;加工精度方面,已经由 $10\text{ }\mu\text{m}$ 提高到 $5\text{ }\mu\text{m}$,精密级加工中心则由 $3\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ 提高到 $1\sim 1.5\text{ }\mu\text{m}$,超精密加工精度已经开始进入纳米级 ($0.001\text{ }\mu\text{m}$)。

2. 智能化

在数控技术中已经融入自适应控制、模糊控制、神经网络控制、专家控制、学习控制、前馈控制等技术。

3. 复合化

即在一台机床上,工件一次装夹便可完成多工种、多工序的加工,实现一机多能,最大限度地提高机床的开机率和利用率,使用户相对减少了设备投入和车间厂房的占地面积,而且大大提高了生产效率和加工精度。

4. 网络化

为了满足柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)的要求,以及构建敏捷制造(agile manufacturing, AM)、虚拟制造(Virtual manufacturing, VM)等的基础,数控机床需要实现网络化。目前先进的数控系统为用户提供了强大的联网能力,除有 RS-232C 串行接口、RS-422 等接口外,还带有远程缓冲功能的 DNC (Distributed Numerical Control) 接口,可以实现数控机床之间的数据通信和直接对若干台数控机床进行控制。

5. 开放性

开放式数控系统的本质是指数控系统的开发可以在统一的运行平台上,面向机床厂家和最终用户,形成系列化,并可将用户的特殊应用集成到控制系统中,实现不同品种、不同档次的开放式数控系统。理想的开放式数控系统应为数控软硬件均可选择、可重组、可添加,这就要求具有统一的软硬件规范化标准。

6. 并联机床

并联机床(Parallel Machine Tool)又称为虚拟轴机床,它是以 Stewart 平台型机器人机构为原型构成的。世界上首台并联机床是美国的 Giddings & Lewis 公司在 1994 年美国芝加哥国际机床展览会上展出的 Variax 型并联机床,它是一台以 Stewart 平台为基础的 5 坐标立式

加工中心，标志着机床设计开始采用并联机构，是机床结构重大改革的里程碑。其去除外罩后的结构如图 1.11 所示，图 1.12 是 Stewart 平台示意图。



图 1.11 Variax 型加工中心

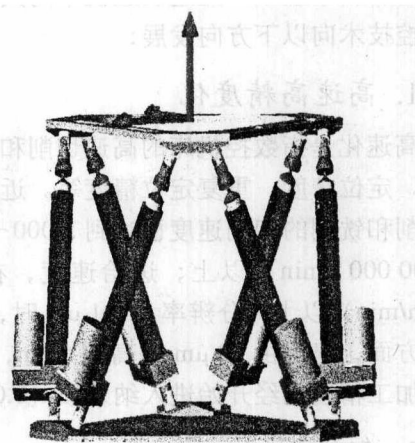


图 1.12 Stewart 平台示意图

并联机床具有结构简单、制造容易、功能强大、质量轻、刚度好、动态性能好等优点，已经成为各国机床行业研究开发的前沿和热点。

1.2 数控机床控制系统

1.2.1 数控机床电气控制系统的组成

数控机床电气控制系统由数控装置、主轴驱动和进给驱动伺服系统、机床强电控制系统（包括普通交流电机驱动和 PLC 装置等）等部分组成，如图 1.13 所示。

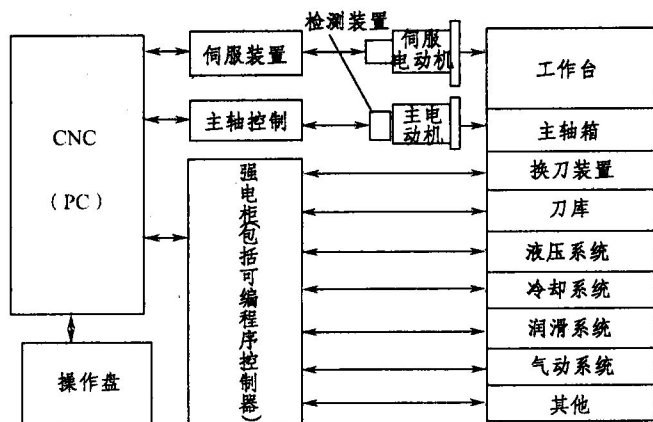


图 1.13 数控机床的组成

数控装置是数控机床控制系统的核心部分，它接受各类信息和指令，经处理后指挥和驱动机床各部分的运动，完成加工零件所需的各类运动之控制。